

CRYSTAL GROWTH METHOD OF NITRIDE SEMICONDUCTOR AND METHOD FOR FORMING SEMICONDUCTOR ELEMENT

Publication number: JP2002313733 (A)

Publication date: 2002-10-25

Inventor(s): BIWA TSUYOSHI; OKUYAMA HIROYUKI; DOI MASATO; OHATA TOYOJI +

Applicant(s): SONY CORP +

Classification:

- **International:** C23C16/34; C30B25/02; H01L21/20; H01L21/205; H01L33/12; H01L33/32; H01S5/323; C23C16/34; C30B25/02; H01L21/02; H01L33/00; H01S5/00; (IPC1-7): C23C16/34; H01L21/205; H01L33/00; H01S5/323

- **European:** C30B25/02; C30B29/40B; C30B29/40B2; H01L21/205C3; H01L21/20B6B2; H01L21/20B6B6

Application number: JP20010113713 20010412

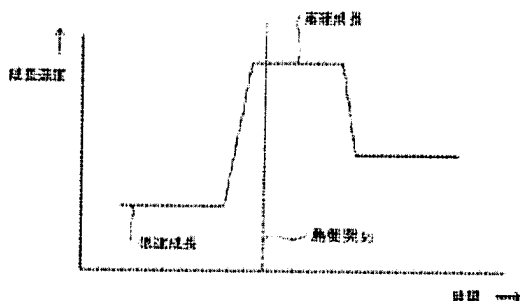
Priority number(s): JP20010113713 20010412

Also published as:

JP3956637 (B2)
US2002170489 (A1)
US7033436 (B2)
US2006096524 (A1)
US7553370 (B2)

Abstract of JP 2002313733 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a crystal growth method of nitride semiconductors, wherein performance and life of a semiconductor device to be formed are improved by reducing transition density. **SOLUTION:** This crystal growth method of nitride semiconductors is provided with a first crystal growing process wherein a plurality of island-shaped crystal regions of nitride semiconductor are formed on the base substance by using vapor growth, and a second crystal growing process wherein the island-shaped crystal regions are grown furthermore while boundaries of the island-shaped crystal regions are bonded to each other. In the method, crystal growth speed in the second crystal growing process is set higher than that in the first crystal growing process, or crystal growth temperature in the second crystal growing process is set lower than that in the first crystal growing process.; Thereby transition is changed at a bonding part of boundaries, and transition density can be reduced.



Data supplied from the **espacenet** database — Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-313733

(P2002-313733A)

(43) 公開日 平成14年10月25日 (2002. 10. 25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	デマコト* (参考)
H 0 1 L 21/205		H 0 1 L 21/205	4 K 0 3 0
C 2 3 C 16/34		C 2 3 C 16/34	5 F 0 4 1
H 0 1 L 33/00		H 0 1 L 33/00	C 5 F 0 4 5
H 0 1 S 5/323	6 1 0	H 0 1 S 5/323	6 1 0 5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数31 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-113713(P2001-113713)

(22) 出願日 平成13年4月12日 (2001. 4. 12)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 琵琶 剛志

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72) 発明者 奥山 浩之

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(74) 代理人 100110434

弁理士 佐藤 勝

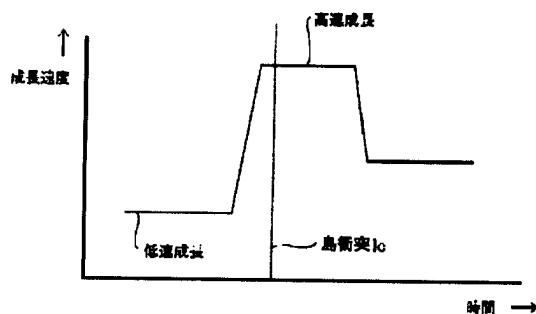
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体の結晶成長方法及び半導体素子の形成方法

(57) 【要約】

【課題】 転位密度を低減して、形成する半導体デバイスの性能や寿命を向上させるような窒化物半導体の結晶成長方法を提供する。

【解決手段】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有する窒化物半導体の結晶成長方法において、第2の結晶成長工程の結晶成長速度を第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高く設定し、或いは第2の結晶成長工程の結晶成長温度を第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低く設定する。転位が境界の結合部分で曲げられ、転位密度を下げるができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高くされることを特徴とする窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項2】 前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度の2倍若しくはそれ以上であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項3】 前記結晶成長速度を平面成長の成長速度に換算した場合、前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度が毎時 $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項4】 前記結晶成長速度を平面成長の成長速度に換算した場合、前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度が毎時 $2\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項5】 前記第1の結晶成長工程における結晶成長は 980°C 以上で行われることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項6】 前記第1の結晶成長工程及び前記第2の結晶成長工程の各結晶成長は実質的に同等の成長温度で行われることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項7】 前記第1の結晶成長工程の前に、低温バッファ層が前記基体上に形成されることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項8】 前記第1の結晶成長工程の前に、成長阻害膜が選択的に形成され若しくは成長阻害物質が前記基体上に供給されることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項9】 前記第1の結晶成長工程の前に、前記基体表面が選択的に除去されることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項10】 前記第1の結晶成長工程の前に、前記基体表面に凹凸が形成されることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項11】 前記第1の結晶成長工程では島状の3次元的形状から擬2次元成長をしながら横方向に成長することを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項12】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させ、前記島状結晶領域の境界同士が結合される前後で結晶成長速度を増加させることを特徴とする窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項13】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工

程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長温度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低くされることを特徴とする窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項14】 前記第1の結晶成長工程における結晶成長は前記第2の結晶成長工程における結晶成長よりも 20°C 以上高い温度で行われることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項15】 前記第1の結晶成長工程における結晶成長は前記第2の結晶成長工程における結晶成長よりも 40°C 以上高い温度で行われることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項16】 前記第1の結晶成長工程における結晶成長は 980°C 以上で行われることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項17】 前記第2の結晶成長工程における結晶成長は 1050°C 以下で行われることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項18】 前記結晶成長速度を平面成長の成長速度に換算した場合、前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度が毎時 $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項19】 前記第1の結晶成長工程及び前記第2の結晶成長工程の各結晶成長は実質的に同等の成長速度で行われることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項20】 前記第1の結晶成長工程の前に、低温バッファ層が前記基体上に形成されることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項21】 前記第1の結晶成長工程の前に、成長阻害膜が選択的に形成され若しくは成長阻害物質が前記基体上に供給されることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項22】 前記第1の結晶成長工程の前に、前記基体表面が選択的に除去されることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項23】 前記第1の結晶成長工程の前に、前記基体表面に凹凸が形成されることを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項24】 前記第1の結晶成長工程では島状の3次元的形状から擬2次元成長をしながら横方向に成長することを特徴とする請求項13記載の窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項25】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高くされ若しくは

前記第2の結晶成長工程の結晶成長温度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低くされると共に前記基体表面の凹凸状態を観測しながらその凹凸状態に応じて前記第1の結晶成長工程から前記第1の結晶成長工程に移行することを特徴とする窒化物半導体の結晶成長方法。

【請求項26】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高い成長速度で前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程と、前記境界同士が結合された窒化物半導体層に半導体素子を形成することを特徴とする半導体素子の形成方法。

【請求項27】 前記半導体素子は半導体発光素子または半導体トランジスタ素子から選ばれた素子であることを特徴とする請求項26記載の半導体素子の形成方法。

【請求項28】 前記半導体発光素子は半導体発光ダイオードまたは半導体レーザー素子であることを特徴とする請求項27記載の半導体素子の形成方法。

【請求項29】 気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低い成長温度で前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程と、前記境界同士が結合された窒化物半導体層に半導体素子を形成することを特徴とする半導体素子の形成方法。

【請求項30】 前記半導体素子は半導体発光素子または半導体トランジスタ素子から選ばれた素子であることを特徴とする請求項29記載の半導体素子の形成方法。

【請求項31】 前記半導体発光素子は半導体発光ダイオードまたは半導体レーザー素子であることを特徴とする請求項30記載の半導体素子の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体を基体上に結晶成長させる窒化物半導体の結晶成長方法及び半導体素子の形成方法に関し、特に半導体発光ダイオードや半導体レーザーなどの半導体発光素子やその他の半導体素子及び半導体装置を製造する場合に適用できる窒化物半導体の結晶成長方法に関する。

【0002】

【従来の技術】窒化ガリウム系化合物半導体などの窒化物半導体の気相成長技術においては格子整合する基板や低転位密度の基板が存在しないために、従来よりサファイアなどの基板表面上に900℃以下の低温で Al_xN もしくは $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x < 1$) 低温バッファ層を堆積し、その後窒化ガリウム系化合物半導体を成長し格子

不整合に起因する転位を低減する技術がある。このような技術は、例えば、特開昭63-188938号公報や特公平8-8217号公報に開示されるものがあり、これらの技術を使用することで窒化ガリウム系化合物半導体層の結晶性およびモフォロジーを改善できる特徴がある。

【0003】さらに低転位密度の高品質結晶を得る技術としては、一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体層を堆積した後に酸化珪素や窒化珪素などからなる窒化ガリウム系化合物半導体の成長を阻害する材料で保護膜を形成し、その保護膜で覆われていない領域から第2の窒化ガリウム系化合物半導体層を面内方向（横方向）に成長することで、基板界面から垂直に伸びる貫通転位の伝播を妨げる技術がある（例えば、特開平10-312971号公報、特開平11-251253号公報参照。）。また、同様な技術としては一旦第1の窒化ガリウム系化合物半導体を成長した後に、リアクティブイオンエッチング装置（以下、RIE）などを用いてその膜を選択的に除去し、その後成長装置内で残された結晶から第2の窒化ガリウム系化合物半導体選択的に成長することで貫通転位密度を低減する技術がある（例えば、MRS Internet J. Nitride Semicond. Res. 4S1, G3, 38 (1999)。これらの技術を使用することで 10^6 cm^{-2} 程度までの転位密度を有する結晶膜が得られ、半導体レーザーの高寿命化などが実現されている。

【0004】図13の(a)から(d)は、従来の窒化ガリウム系化合物半導体の結晶成長方法の一例を示す。サファイア基板100のC面101上に低温バッファ層を形成したところでアンモニアを供給しながらトリメチルガリウムの供給を止めたところ、数十nmのグレイン状の窒化ガリウム層102が形成され（図13の(a)）、再びトリメチルガリウムの供給を開始すると図13の(b)に示すように島状領域がC面101上に横方向に広がるように形成される。この結晶成長を例えば平面成長の成長速度に換算しておよそ $4 \mu\text{m/h}$ の速度で進めた場合では、島状領域の境界部同士が結合し（図13の(c)）、さらに窒化ガリウム層102の層厚が増大され（図13の(d)）、所要の結晶層がサファイア基板100上に形成される。

【0005】また、図14の(a)から(d)は図13の工程と同様な工程を示しているが、成長速度を平面成長の成長速度に換算しておよそ $1 \mu\text{m/h}$ の速度に遅くした場合の従来の結晶成長方法のそれぞれ工程断面図である。低温バッファ層の形成後にサファイア基板110のC面111上に図13の場合と同様なガス供給から数十nmのグレイン状の窒化ガリウム層112が形成され（図14の(a)）、再びトリメチルガリウムの供給を開始すると図14の(b)に示すように島状領域がC面111上に横方向に広がるように形成される。この結晶成長を例えば平面成長の成長速度に換算しておよそ 1μ

m/hの速度で進めた場合では、島状領域の境界部同士が結合し(図14の(c))、さらに窒化ガリウム層102の層厚が増大される(図14の(d))。特に図13の工程と比べて成長が遅いことから、横方向の結晶成長が支配的な成長となり、図13の工程と比べて転位の密度は減少する。

【0006】また、図15及び図16に示す工程は、選択成長によって転位を低減させる従来の結晶成長方法の一例である。先ず、図15の(a)に示すように、サファイア基板120上に窒化ガリウム層122が形成され、その窒化ガリウム層122上に酸化珪素膜123が成長阻害膜として形成され、その一部を開口した開口部124が酸化珪素膜123に形成される。次いで、図15の(b)に示すように選択成長によって開口部124に島状領域を構成する窒化ガリウム層125が形成され、図15の(c)から図16の(d)、(e)と結晶成長が進むにつれて島状領域の境界同士が接し、これらが結合して窒化ガリウム層102が所要の膜厚で形成される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記低温バッファ層を用いる技術においては、図13及び図14に示すように、低温バッファにより形成される結晶成長核を中心として擬2次元成長するためその横方向成長部分で螺旋転位103、113などの転位密度は減少するが、結晶同士の境界の結合部分である会合部で刃状転位104、114が発生し、単にこの技術を使用するだけでは貫通転位を 10^9 cm^{-2} 程度までしか低減することができない。一方、上記第1の窒化ガリウム系化合物半導体上に保護膜材料を形成もしくは第1の窒化ガリウム系化合物半導体をRIEなどにより選択的に除去した後に再成長する技術においては、図15及び図16に示すように横方向に成長した領域では低転位密度となるが、横方向成長した膜同士が会合する領域では貫通転位126が発生して低転位密度を実現するのは困難である。

【0008】また、窒化ガリウム化合物半導体膜成長時に成長阻害物質であるシリコン原料を供給することで転位密度を低減する技術(例えば、Journal of Crystal Growth 205, 245 (1999))があるが、この場合もいったん島状の3次元形状から擬2次元成長による横方向成長を経て結晶が会合する過程で、会合部に転位が発生する。

【0009】すなわち、以上のような技術それぞれ単独では低転位密度化の限界があり、転位によって作製される半導体デバイスの性能や寿命が悪化することから、さらに転位密度を低減することが要求されている。

【0010】特開平9-97921号公報に記載される3-5族化合物半導体の製造方法においては、バッファ層の形成後にGa₂N層を成長速度1000Å/分で形成し、次いでノンドープのGa₂N層を成長速度200Å/

分で形成することが開示されており、このような低速成長層を形成することで発光効率を高めることが記載されている。この発明では、低速成長層によって結晶の品質を高めることが可能であるが、この発明は基板からの貫通転位や刃状転位、螺旋転位などを抑える方法を示すものではなく、依然として転位密度を低減することが要求されることに他ならない。

【0011】そこで、上述の技術的な課題を解決するため、本発明は、転位密度を低減して、形成する半導体デバイスの性能や寿命を向上させるような窒化物半導体の結晶成長方法を提供することを目的とし、さらにその窒化物半導体の結晶成長方法を用いた素子の形成方法を提供することを目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法は、気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高くされることを特徴とする。

【0013】基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程では、窒化物半導体の島状結晶領域が横方向に広がる擬2次元成長が生じており、基板に平行な面での脱離が支配的な成長速度の遅い条件で成長させることでより広い横方向成長が生ずる。島状結晶領域が横方向に広がっていくことで、次第に島状結晶領域同士が互いの境界を結合させるようにして結合する。この第1の結晶成長工程から第2結晶成長工程に移行する際に、その成長条件を変調し、脱離が少ない条件にすなわち成長速度を急に増大することで、結晶自体はそれぞれの条件に対する安定状態になろうとするために、結晶の成長方向が変化することが発生して結晶の隣接ドメインを埋め込むように成長し、その結果、転位の方向が屈曲することになり、境界同士の結合時に発生する転位の密度を下げることで実現される。

【0014】また、本発明の他の窒化物半導体の結晶成長方法は、気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長温度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低くされることを特徴とする。

【0015】第1の結晶成長工程から第2結晶成長工程に移行する際に、前述のように、その成長条件の変調は成長速度を高くすることでも可能であるが、成長温度を下げることも可能である。当該結晶成長方法では、第2結晶成長工程で結晶成長温度を低くすることで脱離が

少ない条件に移行し、結晶層内で成長方向を変化させて、結晶の隣接ドメインを埋め込むように成長させる。その結果、転位の方向が屈曲することになり、境界同士の結合時に発生する転位の密度を下げる事が実現される。

【0016】本発明のさらに他の窒化物半導体の結晶成長方法は、気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程を有し、前記第2の結晶成長工程の結晶成長速度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高くされ若しくは前記第2の結晶成長工程の結晶成長温度は前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低くされると共に前記基体表面の凹凸状態を観測しながらその凹凸状態に応じて前記第1の結晶成長工程から前記第2の結晶成長工程に移行することを特徴とする。

【0017】成長条件を変調し、すなわち結晶成長速度を増大させ、或いは結晶成長温度を低下させることにより、成長方向が変化することが発生して結晶の隣接ドメインを埋め込むように成長し、その結果、転位の方向が屈曲することになり、境界同士の結合時に発生する転位の密度を下げる事が実現される。当該窒化物半導体の結晶成長方法では、基体表面の凹凸状態を観測することで、結晶成長過程における境界同士の結合タイミングを計り、転位の方向の屈曲を効率良く発生させ、境界同士の結合時に発生する転位の密度を更に低減する。

【0018】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法は、半導体素子を形成する場合に適用することで、特性の優れた半導体素子を形成することができる。すなわち、本発明の半導体素子の形成方法は、気相成長によって基体上に複数の窒化物半導体の島状結晶領域を形成させる第1の結晶成長工程と、前記島状結晶領域の境界同士を結合させながら前記第1の結晶成長工程の結晶成長速度より高い成長速度で若しくは前記第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低い成長温度で前記島状結晶領域を更に成長させる第2の結晶成長工程と、前記境界同士が結合された窒化物半導体層に半導体素子を形成することを特徴とする。半導体素子は、例えば半導体発光素子または半導体トランジスタ素子などであり、半導体発光素子としては半導体発光ダイオードまたは半導体レーザー素子を形成することが可能である。

【0019】本発明の半導体素子の形成方法では、第2の結晶成長工程において第1の結晶成長工程の高い成長速度で若しくは第1の結晶成長工程の結晶成長温度より低い成長温度で成長が行われることから、転位の方向が屈曲することになり、境界同士の結合時に発生する転位の密度を下げる事が実現される。このように転位密度を低下させた結晶層に半導体素子を形成することで、その結晶性の良好さを反映した特性の優れた半導体素子を

製造することができる。

【0020】

【発明の実施の形態】本発明の好適な実施形態について図面を参照しながら説明する。本発明の窒化物半導体の結晶成長方法及び半導体素子の形成方法では、低温バッファを用いた方法（第1の実施形態）、選択的に成長阻害マスクを形成する方法（第2の実施形態）、選択的に結晶を除去する方法（第3の実施形態）、成長阻害物質を供給する方法（第4の実施形態）をそれぞれ適用おり、これらの方法ではいずれも島状結晶領域（ストライプ状、網目状、その他形状も含む。）が3次元形状から擬2次元成長をしながら横方向に成長し、それら島状結晶領域同士が会合して結果として低転位密度を実現する。ここで3次元とは平坦膜ではなく凹凸形状を有していることを意味し、擬2次元成長とは縦方向への成長のない単なる横方向だけへの成長（2次元成長）に対して縦方向への成長も含んだ横方向への成長を意味する。また、本明細書において、島状結晶領域が会合する、すなわち結晶領域の境界同士が結合する過程若しくはタイミングとは、結合する瞬間だけに限定されるものではなく、同様な効果を得られるような前後の時間も含むものとする。また、基体とは基板を含むものであって更には通常のウエハ状の基板に結晶成長に好適な薄膜などが形成されていても良く、板状の形状を有しないもの並びに板状の形状を有するものの双方が含まれる。

【0021】〔第1の実施形態〕本発明の実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法は、低温バッファを用いた結晶成長技術に基づいており、図1乃至図4を参照しながら説明する。

【0022】図1の(a)に示すように、先ず、C面を基板主面とするサファイア基板10を図示しない有機金属成長装置内に載置する。このサファイア基板10は1050℃で水素と窒素の混合雰囲気(キャリアガス)中でのクリーニングを経て、500℃に降温される。この温度で窒素原料としてアンモニアの供給が開始され、図1の(b)に示すように、Ga原料であるトリメチルガリウムを供給することで約30nmのGa₂Nからなるアモルファス状の低温バッファ層11をサファイア基板10の主面全面に堆積する。

【0023】アモルファス状の低温バッファ層11が堆積されたところで、一旦トリメチルガリウムの供給を停止して、アンモニアを供給しながら1020℃まで昇温する。この条件によって、図1の(c)に示すように、結晶化し数10nmのグレイン状の不連続膜からなる窒化ガリウム層12の島状結晶領域の核部分が形成される。

【0024】再びトリメチルガリウムの供給を開始したところ、上記グレインを核として擬2次元成長し島状結晶領域が成長する。この時の成長速度は毎時1μmであり、核密度が低く横方向成長部が広くなるように結晶成

長が進められる。図1の(d)に示すように、螺旋転位13も生ずるが、成長速度が毎時 $1\mu\text{m}$ と遅いためC面方向の成長速度は遅くなり、縦方向の成長の少ない横方向への成長が支配的な成長となる。また、C面での脱離が支配的なため、図1の(c)で形成されていた核の一部は脱離し、核の密度は減少する。このような結晶成長によって、生じる転位の密度が減少し貫通転位密度 $5 \times 10^8 \sim 1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ 程度の窒化ガリウム層12の島状結晶領域が得られる。

【0025】図2の(e)に示すように、擬2次元成長によって窒化ガリウム層12の島状結晶領域同士が会合する瞬間すなわち島状結晶領域の境界部15が結合するタイミングで、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する。島状結晶領域の境界部15同士が結合するタイミングは複数の島状結晶領域で必ずしも同じタイミングではないが、平均的な境界部15同士の結合のタイミングの前後であれば良い。

【0026】第2の結晶成長工程では結晶成長速度が高くされ、第1の結晶成長工程で毎時 $1\mu\text{m}$ であったものが、急に成長速度毎時約 $10\mu\text{m}$ に増大される。この条件下ではC面からの脱離はC面への成長に比べて小さくなり、それぞれの島状結晶領域は縦方向にも急速に成長し、図2の(f)に示すように、小さな島状結晶領域は隣接した島状結晶領域の成長にのみこまれる。その結果、結合部16に発生した転位は別の大きな島との結合部まで曲げられる、もしくは適当なバーガーズベクトルを有する別の転位と終端し、残留する転位は減少することになる。その後成長速度を通常の毎時 $4\mu\text{m}$ で成長したところ、図2の(g)に示すように表面モホロジーのよい貫通転位密度の低減された窒化ガリウム層12が形成され、本件発明者らが行った実験例からは $2 \sim 5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ 程度に貫通転位が抑制された窒化ガリウム層が得られている。

【0027】このような成長速度の急な増大によって貫通転位が抑制された窒化ガリウム層12は、そのまま半導体素子の下地部分として使用することができ、図2の(h)に示すように、次いでシリコンドープなどのn型窒化ガリウム層17、InGaInなどからなる活性層18、マグネシウムドープのp型窒化ガリウム層19の各層を積層し、n型窒化ガリウム層17の一部を露出するように活性層18とp型窒化ガリウム層19を共に除去したところで、n側電極8とp側電極9をそれぞれn型窒化ガリウム層17とp型窒化ガリウム層19に蒸着法などにより形成し、半導体発光ダイオード素子を形成する。下地層とした窒化ガリウム層12は貫通転位が抑制されているために、半導体発光ダイオード素子の特性は良好であり、特に発光特性に優れた素子となる。本実施形態では、窒化ガリウム系の化合物による半導体発光ダイオード素子が形成されるが、本実施形態を用いて半導体レーザー素子を形成することもでき、他の半導体素子

として電界効果型トランジスタやその他の能動素子を形成することも可能である。また、窒化ガリウム層12上に形成される素子はプレーナ型の素子に限定されず、S面などのファセットを利用して活性層を形成した六角錐状などのピラミッド構造を有する半導体発光ダイオード素子などであっても良い。

【0028】本実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法は、島状結晶領域の境界部15が結合するタイミングで成長速度が毎時 $1\mu\text{m}$ から毎時 $10\mu\text{m}$ に大きく増大させ、結合部に発生した転位が別の大きな島状結晶領域との結合部まで曲げられたり、もしくは適当なバーガーズベクトルを有する別の転位と終端し、残留する転位は減少することになる。従って、結晶全体としての転位を大きく減らすことができ、半導体発光ダイオード素子などの半導体素子を形成した場合では、その素子特性を大きく改善することができる。

【0029】図14の従来の結晶成長方法では、 1020°C に昇温後毎時 $1\mu\text{m}$ で成長しており、核の密度は減少することで貫通転位密度を下げる効果がある反面、C面での脱離が激しいため、表面モホロジーが悪いという問題も発生していた。しかし、本実施形態では当初、成長速度が遅いために核の密度が減少することで貫通転位密度を下げる効果が得られ、さらに第2の結晶成長工程では成長速度が高いために、C面での脱離も有る程度抑えることができ、表面モホロジーも良好な層を形成できることになる。

【0030】図3は成長速度を制御して結晶を成長させる場合の時間に対する成長速度の大きさを示すグラフである。図中島衝突Icで示すタイミングが、島状結晶領域の境界部15同士が結合するタイミングである。第1の結晶成長工程として例えば毎時 $1\mu\text{m}$ で低速成長され、島衝突Icで示すタイミングと前後して高速成長に移行する。高速成長は例えば毎時 $10\mu\text{m}$ である。上述の実施形態では、毎時 $10\mu\text{m}$ の後、毎時 $4\mu\text{m}$ で結晶成長させる。グラフ中、成長速度は折れ線状に変化しているが、曲線をもって変化するような制御であっても良い。

【0031】上述の如き転位低減の効果を実現するには成長速度において少なくとも2倍以上の差が必要とされ、2倍以内では成長条件の差が小さく、瞬間的な成長速度の増大や転位の屈曲を期待できないことになる。より好ましくは5倍以上の成長速度の差があることが好ましい。また、第1の結晶成長工程において、横方向成長時の成長速度を毎時 $3\mu\text{m}$ 以下にしないと脱離の支配的な条件を実現することが困難となり、より好ましくは毎時 $1.5\mu\text{m}$ 以下である。なお、島状結晶領域の成長時は単純な成長速度の定義が出来ないため、その体積増加率を膜状成長時の成長速度に換算した値として、結晶成長速度を平面成長の成長速度に換算した場合という表現で、成長速度の値を定義づけている。第2の結晶成長工程の結晶成長速度が毎時 $2\mu\text{m}$ 以上であれば、会合過程

での成長速度は脱離の少ない条件となり、それより低いと、脱離の少ない条件脱離の支配的な条件から急峻な成長条件の変調にはならず、瞬間的に成長速度が増大したり転位が屈曲するような効果は期待できない。より好ましくは第2の結晶成長工程の結晶成長速度は毎時4 μm 以上である。成長速度を変える場合、成長温度は第一と第二の過程で変える必要がない。変えないことで成長方法は単純化する。また、成長速度と成長温度を同時に切り替えると再現性も低くなることがあり、あえて変えない方法を意図的に使用することも可能である。

【0032】上述の実施形態では、成長速度を第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する場合に、低速成長から高速成長に変化させているが、成長温度を高温から低温に変化させることでも、同様な貫通転位低減の効果を得ることができる。これは成長温度を例えば980℃の低温にした場合では、成長面からの結晶原子の脱離が少ない状態になり、島状結晶領域の境界部同士が結合する結合部近傍での転位は別の大きな島状結晶領域との結合部まで曲げられ若しくは適当なバーガズベクトルを有する別の転位と終端し、その結果、残留する転位は減少することになる。

【0033】図4は第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長温度を高温から低温に変化させる例である。低温バッファ層の形成時には成長温度は500℃であるが、成長速度を毎時3 μm としてそれぞれ第1の結晶成長工程では1050℃の高温成長を行い、島状結晶領域の境界部15同士が結合する島衝突Icのタイミングで980℃の低温成長に変化させる。この980℃の低温成長で結合部近傍での転位は大きく曲げられることになり、島状結晶領域同士が会合した後は1020℃で成長を継続して、転位密度もモホロジーもよい膜を形成することができる。

【0034】第1の結晶成長工程ではある程度成長温度が高くないと成長速度を下げても脱離の支配的な条件を実現できない。このため脱離の支配的な条件を得るための最低温度が窒化ガリウムの場合、第1の結晶成長工程での成長温度は980℃ぐらいであり、1000℃以上であることが好ましい。高温成長と低温成長の温度差として20℃以上が必要であり、好ましくは40℃以上が必要である。それより小さい場合、成長条件の差が小さく、瞬間的な成長速度の増大や転位の屈曲を期待できないことになる。また、横方向成長時の成長速度を980℃以上にしないと脱離の支配的な条件を実現できず、好ましくは1000℃以上である。第2の結晶成長工程での成長速度は脱離の少ない条件であることが必要であり、それが1050℃以下とされ、好ましくは1020℃以下である。

【0035】本実施形態のように島状結晶領域同士の結合時を見計らって成長速度や成長温度を変調するには、表面粗さを光学的に観測する方法がある。例えば図1及

び図2の方法で、結晶成長中にもっとも表面粗さが大きくなる時間を測定しておき、その時間にあわせて成長速度又は成長温度を急峻に増大させると効果的である。光学的測定法には、表面からの反射光を観測する方法、ウェハを通してサセプタなどからの放射光の透過を観測する方法などが挙げられる。

【0036】なお、上述の実施形態では、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長速度を変調させる例と、その変形例として成長温度を変調する例について説明したが、成長速度と成長温度の両方を変調するような制御を行っても良い。また、化合物半導体層としては、窒化ガリウム層についてだけ説明しているが、後の工程でファセット構造を形成することからウルツ鉱型の化合物半導体であっても良く、他のウルツ鉱型の化合物半導体を用いても同様の効果を得ることができる。ここで化合物半導体層としてはウルツ鉱型の結晶構造を有する窒化物半導体、BeMgZnCdS系化合物半導体、およびBeMgZnCdO系化合物半導体などが好ましい。

【0037】窒化物半導体からなる結晶層としては、例えばIII族系化合物半導体を用いることができ、更には窒化ガリウム(GaN)系化合物半導体、窒化アルミニウム(AlN)系化合物半導体、窒化インジウム(InN)系化合物半導体、窒化インジウムガリウム(InGaN)系化合物半導体、窒化アルミニウムガリウム(AlGaN)系化合物半導体を好ましくは用いることができ、特に窒化ガリウム系化合物半導体が好ましい。なお、本発明において、InGaN、AlGaN、GaNなどは必ずしも、3元混晶のみ、2元混晶のみの窒化物半導体を指すのではなく、例えばInGaNでは、InGaNの作用を変化させない範囲での微量のAl、その他の不純物を含んでいても本発明の範囲であることは言うまでもない。

【0038】[第2の実施形態]本実施形態の選択成長マスクを用いた窒化ガリウム系の結晶成長方法であり、選択成長マスクによる転位密度の低減効果に加えて成長速度の変調による転位密度の低減も得られる方法である。

【0039】図5及び図6に本実施形態の工程を示す。まず、図5の(a)に示すように、C面を主面とするサファイア基板20上に有機金属気相成長法によって低温バッファ技術を使用して窒化ガリウム層21を2 μm 成長する。窒素原料はアンモニア、ガリウム原料はトリメチルガリウム、キャリアガスは水素と窒素である。この窒化ガリウム層21には貫通転位22が $1 \sim 2 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$ の密度で存在する。

【0040】次いで、図5の(b)に示すように、成長阻害膜である酸化珪素膜23を窒化ガリウム層21上に形成し、フォトリソグラフィにより酸化珪素膜23に、窒化ガリウム層21の{1, -1, 0, 0}方向に延在さ

れるストライプ状の開口部24を形成する、この酸化珪素膜23は例えば厚み200nmであり、開口部24は開口幅3 μ m、間隔10 μ mで形成する。なお、開口幅3 μ mや間隔10 μ mは例示であり、他のサイズであっても良い。

【0041】酸化珪素膜23にこのような開口部24を形成した後、再び有機金属気相成長装置に導入し、水素、窒素及びアンモニアを流しながら1020℃に昇温し、トリメチルガリウムの供給を開始することで、図5の(c)に示すように、開口部24から断面が六角台形状の窒化ガリウムからなる選択成長層25を形成する。このときトリメチルガリウムの供給量は平坦膜として成長した場合、例えば毎時4 μ mに相当する量を供給する。このままの成長速度で選択成長を続けることも可能であるが、成長速度を4分の1に減少させることで、C面での脱離が支配的となり横方向成分の速い成長が得られる。これは成長膜厚を薄くし反りを小さく抑えるのに役立つ。その結果、図6の(d)に示すように、マスクである酸化珪素膜23上に横方向・縦方向に島状の選択成長層25が成長し、隣接する開口部24からの成長により境界部26同士が会合して結合部27が生ずる。

【0042】この結合部27が生ずるタイミングと同時に若しくは多少前後して、成長速度を毎時20 μ mまで急に増大させる。この第2の結晶成長工程での成長速度ではC面での成長速度が速くなり、まず縦方向に瞬間的に成長し、そのまま相似的に縦横にすばやく成長するため、結合部27には原料が供給されず、図6の(e)に示すように結晶のない空隙部(void)28が残されることになる。開口部24から屈曲し結合部27まで伝播した転位22aはその空隙部28で終端される。次に図6の(f)に示すように、成長速度を毎時4 μ mに戻して成長させる。本件発明者らが行った実験例では、マスク中央部での転位密度は図15、図16の従来例の方法と比較して半減することが分かり、これにより成長膜厚も薄く、マスク中央部での転位密度も低い膜が得られた。

【0043】本実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法では、第2の結晶成長工程で成長速度を毎時20 μ mまで急に増大させて、転位を空隙部28で終端させるようにすることができる。従って、選択成長による転位低減効果と相まって更に結晶の転位を低減することができる。なお、本実施形態では、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長速度を増加させているが、第1の実施形態に説明されるように成長温度を下げるように制御しても良い。また、島状結晶領域同士の結合時を見計らって成長速度や成長温度を変調するには、窒化物化合物の表面粗さを光学的に観測する手段を用いることができる。

【0044】本実施形態も第1の実施形態と同様に、半導体素子の製造に適用することができ、例えば窒化ガリウム系の化合物による半導体発光ダイオード素子が形成

されるが、本実施形態を用いて半導体レーザー素子を形成することもでき、他の半導体素子として電界効果型トランジスタやその他の能動素子を形成することも可能である。また、窒化ガリウム層上に形成される素子はプレナー型の素子に限定されず、S面などのファセットを利用して活性層を形成した六角錐状などのピラミッド構造を有する半導体発光ダイオード素子などであっても良い。また、化合物半導体層としては、窒化ガリウム層についてだけ説明をしているが、後の工程でファセット構造を形成することから他のウルツ鉱型の化合物半導体であっても良く、他のウルツ鉱型の化合物半導体を用いても同様の効果を得ることができる。ここで化合物半導体層としてはウルツ鉱型の結晶構造を有する窒化物半導体、BeMgZnCdS系化合物半導体、およびBeMgZnCdO系化合物半導体などが好ましい。

【0045】[第3の実施形態] 本発明の実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法では、選択的に窒化ガリウム層を除去し、残された結晶から横方向に成長することで転位密度を低減する技術に基づいており、図7及び図8を参照しながら説明する。

【0046】まず、図7の(a)に示すように、有機金属気相成長法により低温バッファ層を用いてC面を主面とするサファイア基板30上に窒化ガリウム層31を1 μ m成長する。この時点で窒化ガリウム層31には貫通転位32が存在する。

【0047】次いで、フォトリソグラフィとRIEを用いて{1、-1、0、0}方向のストライプ状に幅3 μ m、間隔10 μ mの窒化ガリウム層31が部分的に残るように結晶を除去し、図7の(b)に示すように、サファイア基板30の表面が若干削られるまでエッチングを行う。再び有機金属気相成長装置に導入し、キャリアガスとして水素と窒素、窒素原料としてアンモニアを供給しながら1020℃まで昇温し、ガリウム原料であるトリメチルガリウムの供給を開始して成長を開始する。従来の方では平坦膜上の成長に換算して毎時4 μ mですべて成長していたが、本実施形態では成長速度毎時1 μ mで成長を開始する。成長を開始すると矩形的窒化ガリウム層31は、図8の(d)に示すように安定面である(1、1、-2、2)面を形成しながら横方向に成長する。この段階では第2の実施形態の場合と同様に成長速度を下げたことで横方向に支配的な成長を示し、サファイア基板30の表面には凹部33が残されることになる。

【0048】横方向に成長した窒化ガリウム層31の境界部34同士が結合する結合部35が生ずるタイミングと同時に若しくは多少前後して、成長速度を毎時20 μ mまで急に増大させる。この第2の結晶成長工程での成長速度ではC面での成長速度が速くなり、まず縦方向に瞬間的に成長し、そのまま相似的に縦横にすばやく成長するため、結合部35には原料が供給されず、図8の

(e)に示すように結晶のない空隙部(void)36が残されることになる。窒化ガリウム層31内で屈曲し結合部35まで伝播した転位32aはその空隙部36で終端される。次に図8の(f)に示すように、成長速度を毎時4 μ mに戻して成長させる。以降、半導体素子として、半導体発光ダイオードを形成する場合は、n型窒化ガリウム層、活性層、p型窒化ガリウム層を順次積層し、各電極を形成することで素子が形成される。

【0049】本実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法では、第2の実施形態と同様に、第2の結晶成長工程で成長速度を毎時20 μ mまで急に増大させて、転位を空隙部36で終端させるようにすることができる。従って、選択成長による転位低減効果と相まって更に結晶の転位を低減することができる。なお、本実施形態では、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長速度を増加させているが、第1の実施形態に説明されるように成長温度を下げるように制御しても良い。また、島状結晶領域同士の結合時を見計らって成長速度や成長温度を変調するには、窒化物化合物の表面粗さを光学的に観測する手段を用いることができる。

【0050】また、本実施形態も第1の実施形態と同様に、半導体素子の製造に適用することができ、例えば窒化ガリウム系の化合物による半導体発光ダイオード素子が形成されるが、本実施形態を用いて半導体レーザー素子を形成することもでき、他の半導体素子として電界効果型トランジスタやその他の能動素子を形成することも可能である。また、窒化ガリウム層上に形成される素子はプレナー型の素子に限定されず、S面などのファセットを利用して活性層を形成した六角錐状などのピラミッド構造を有する半導体発光ダイオード素子などであっても良い。また、化合物半導体層としては、窒化ガリウム層についてだけ説明をしているが、後の工程でファセット構造を形成することから他のウルツ鉱型の化合物半導体であっても良く、他のウルツ鉱型の化合物半導体を用いても同様の効果を得ることができる。ここで化合物半導体層としてはウルツ鉱型の結晶構造を有する窒化物半導体、BeMgZnCdS系化合物半導体、およびBeMgZnCdO系化合物半導体などが好ましい。

【0051】〔第4の実施形態〕本発明の第4の実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法は、成長阻害物質を窒化ガリウム系化合物半導体層表面に供給し、島状成長から横方向成長させることで転位密度を低減する技術に基づいており、図9及び図10を参照しながら説明する。

【0052】まず、図9の(a)に示すように、有機金属気相成長法により低温バッファ層を用いて基板主面をC面とするサファイア基板40上に窒化ガリウム層41を1 μ m成長させる。この段階では、窒化ガリウム層41に螺旋転位43や刃状転位42などが含まれる。

【0053】次いで、トリメチルガリウムの供給を停止してシリコン原料であるシランガスを5分間供給する。

シリコンは成長阻害物質(アンチサーファクタント)として働き、表面は窒化ガリウム膜の成長しにくい状態となる。再びトリメチルガリウムを毎時4 μ mで供給を開始すると、シリコンで終端されていないピンホール状に露出した窒化ガリウム層41表面から成長を開始し、図9の(b)に示すように窒化ガリウム層41表面には島状結晶領域44が形成される。従来はこのまま毎時4 μ mで成長を継続したが、本実施形態では島状結晶領域44に成長したところから成長速度を毎時1 μ mとし、図9の(c)及び図10の(d)に示すように島状結晶領域44に成長した領域の境界部45同士が会合して結合部46が生ずる際に、成長速度を毎時10 μ mに増大させる。このような成長速度の急激な増大によって、結合部46付近の転位は曲げられて、転位密度は低減されることになる。

【0054】その後は毎時4 μ mに戻し図10の(e)に示すように平坦化させる。上記実施例と同様に成長速度を低減した部分では横方向に支配的な成長をすることで成長膜厚を薄くでき、また成長速度を急峻に増大することで従来よりも会合部に発生する転位密度を低減できる。なお、本実施形態においても、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長速度を増加させているが、第1の実施形態に説明されるように成長温度を下げるように制御しても良い。また、島状結晶領域同士の結合時を見計らって成長速度や成長温度を変調するには、窒化物化合物の表面粗さを光学的に観測する手段を用いることができる。

【0055】また、本実施形態も第1の実施形態と同様に、半導体素子の製造に適用することができ、例えば窒化ガリウム系の化合物による半導体発光ダイオード素子が形成されるが、本実施形態を用いて半導体レーザー素子を形成することもでき、他の半導体素子として電界効果型トランジスタやその他の能動素子を形成することも可能である。また、窒化ガリウム層上に形成される素子はプレナー型の素子に限定されず、S面などのファセットを利用して活性層を形成した六角錐状などのピラミッド構造を有する半導体発光ダイオード素子などであっても良い。また、化合物半導体層としては、窒化ガリウム層についてだけ説明をしているが、後の工程でファセット構造を形成することから他のウルツ鉱型の化合物半導体に適用することも可能である。

【0056】〔第5の実施形態〕本発明の第5の実施形態の窒化物半導体の結晶成長方法は、窒化ガリウム層を一旦凹凸の有る形状に加工し、島状結晶成長から横方向成長させることで転位密度を低減する技術に基づいており、図11及び図12を参照しながら説明する。

【0057】まず、図11の(a)に示すように、有機金属気相成長法により低温バッファ層を用いて基板主面をC面とするサファイア基板50上に窒化ガリウム層51を1 μ m成長させ、次いで、エッチングその他の方法に

よって窒化ガリウム層51の表面に凹凸を形成する。この段階では、窒化ガリウム層51に螺旋転位53や刃状転位52などが含まれる。

【0058】次いで、トリメチルガリウムを毎時4 μm で供給を開始すると、図11の(b)に示すように窒化ガリウム層51表面には島状結晶領域54が形成される。窒化ガリウム層51の表面の凹凸で一部の転位は終端することから、多くの螺旋転位53や刃状転位52などは該表面の凹凸で終端し、転位密度は低減される。本実施形態では島状結晶領域54に成長したところから成長速度を毎時1 μm とし、図11の(c)及び図12の(d)に示すように島状結晶領域54に成長した領域の境界部55同士が会合して結合部56が生ずる際に、成長速度を毎時10 μm に増大させる。このような成長速度の急激な増大によって、結合部56付近の転位は曲げられて、転位密度は更に低減されることになる。

【0059】その後は毎時4 μm に戻し図11の(e)に示すように平坦化させる。上記実施例と同様に成長速度を低減した部分では横方向に支配的な成長をすることで成長膜厚を薄くでき、また成長速度を急峻に増大することで従来よりも会合部に発生する転位密度を低減できる。なお、本実施形態においても、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する際に成長速度を増加させているが、第1の実施形態に説明されるように成長温度を下げるように制御しても良い。また、島状結晶領域同士の結合時を見計らって成長速度や成長温度を変動するには、窒化物化合物の表面粗さを光学的に観測する手段を用いることができる。

【0060】また、本実施形態も第1の実施形態と同様に、半導体素子の製造に適用することができ、例えば窒化ガリウム系の化合物による半導体発光ダイオード素子が形成されるが、本実施形態を用いて半導体レーザー素子を形成することもでき、他の半導体素子として電界効果型トランジスタやその他の能動素子を形成することも可能である。また、窒化ガリウム層上に形成される素子はプレナー型の素子に限定されず、S面などのファセットを利用して活性層を形成した六角錐状などのピラミッド構造を有する半導体発光ダイオード素子などであっても良い。また、化合物半導体層としては、窒化ガリウム層についてだけ説明をしているが、後の工程でファセット構造を形成することから他のウルツァー型の化合物半導体に適用することも可能である。

【0061】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法においては、第1の結晶成長工程から第2の結晶成長工程に移行する場合に、成長速度や成長温度を変動される。このため結晶中に存在する転位は、結合部に近傍で別の大きな島状結晶領域との結合部まで曲げられたり、若しくは別の転位や空隙部などで終端し、転位密度は大幅に低減されることになる。また、従来の各種転位低減技術

を組み合わせることで、さらに島状結晶領域の境界部近くの転位や貫通転位などの転位を低減できる。

【0062】また、本発明の半導体素子の形成方法では、前述の結晶転位密度の低減された結晶を素子形成に利用できるため、素子に特性を大幅に改善することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第1の実施形態の工程断面図であって、(a)はサファイア基板を示す工程断面図、(b)は低温バッファ層の形成工程までの工程断面図、(c)は窒化ガリウム層の形成工程までの工程断面図、(d)は島状結晶領域の形成工程までの工程断面図である。

【図2】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第1の実施形態の工程断面図であって、(e)は横方向成長を示す工程断面図、(f)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図、(g)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図、(h)は半導体発光素子の形成工程までの工程断面図である。

【図3】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第1の実施形態での成長速度を変調する場合の制御を示すグラフである。

【図4】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第1の実施形態での成長温度を変調する場合の制御を示すグラフである。

【図5】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第2の実施形態の工程断面図であって、(a)は低温バッファ層の形成工程までの工程断面図、(b)は開口部の形成工程までの工程断面図、(c)は窒化ガリウム層の選択成長層の形成工程までの工程断面図である。

【図6】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第2の実施形態の工程断面図であって、(d)は横方向成長を示す工程断面図、(e)は窒化ガリウム層の結合部に空隙部が生ずる工程までの工程断面図、(g)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図である。

【図7】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第3の実施形態の工程断面図であって、(a)は窒化ガリウム層の形成工程までの工程断面図、(b)は凹部の形成工程までの工程断面図、(c)は窒化ガリウム層の選択成長工程までの工程断面図である。

【図8】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第3の実施形態の工程断面図であって、(d)は横方向成長を示す工程断面図、(e)は窒化ガリウム層の結合部に空隙部が生ずる工程までの工程断面図、(g)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図である。

【図9】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第4の実施形態の工程断面図であって、(a)は窒化ガリウム層の形成工程までの工程断面図、(b)は窒化ガリウム層の選択成長工程までの工程断面図、(c)は窒化ガリウム層の横方向成長工程までの工程断面図である。

【図10】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第4の実施形態の工程断面図であって、(d)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図、(e)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図である。

【図11】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第5の実施形態の工程断面図であって、(a)は窒化ガリウム層の表面に凹凸を形成する工程までの工程断面図、(b)は窒化ガリウム層の選択成長工程までの工程断面図、(c)は窒化ガリウム層の横方向成長工程までの工程断面図である。

【図12】本発明の窒化物半導体の結晶成長方法の第5の実施形態の工程断面図であって、(d)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図、(e)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図である。

【図13】従来の窒化物半導体の結晶成長方法の一例の工程断面図であって、(a)は窒化ガリウム層の形成工程までの工程断面図、(b)は島状結晶領域の形成工程までの工程断面図、(c)は横方向成長を示す工程断面図、(d)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図である。

【図14】従来の窒化物半導体の結晶成長方法の他の一例の工程断面図であって、(a)は窒化ガリウム層の形

成工程までの工程断面図、(b)は島状結晶領域の形成工程までの工程断面図、(c)は横方向成長を示す工程断面図、(d)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図である。

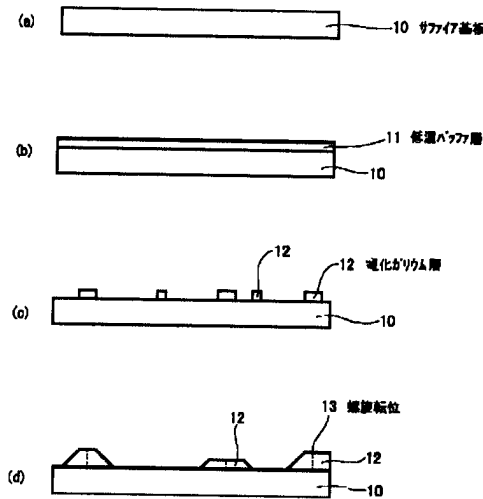
【図15】従来の窒化物半導体の結晶成長方法の一例の工程断面図であって、(a)は選択マスクの形成工程までの工程断面図、(b)は島状結晶領域の形成工程までの工程断面図、(c)は横方向成長を示す工程断面図である。

【図16】前記従来の窒化物半導体の結晶成長方法の一例の工程断面図であって、(d)は窒化ガリウム層の結合部が生ずる工程までの工程断面図、(e)は窒化ガリウム層の平坦化工程までの工程断面図である。

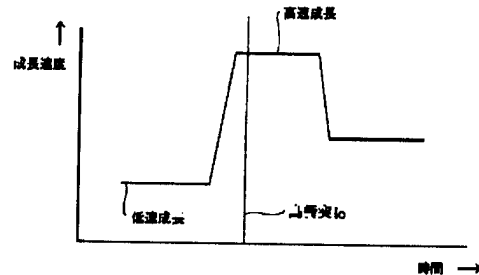
【符号の説明】

- 10、20、30、40、50 サファイア基板
- 11 低温バッファ層
- 12、21、31、41、51 窒化ガリウム層
- 15、26、34、45、55 境界部
- 24 開口部
- 25 選択成長層
- 44 島状結晶領域

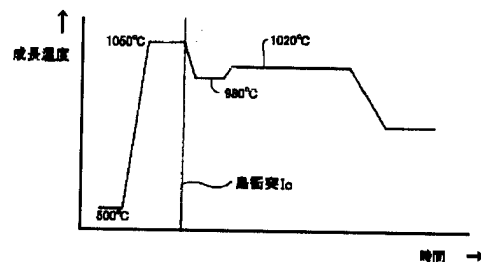
【図1】



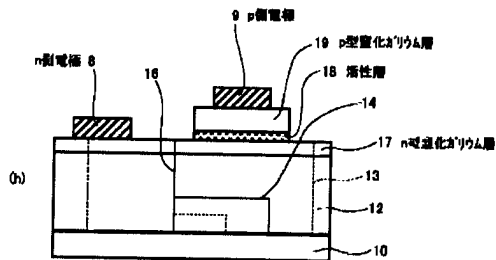
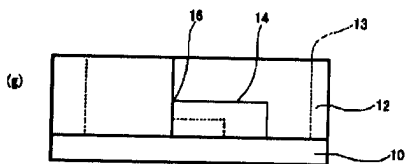
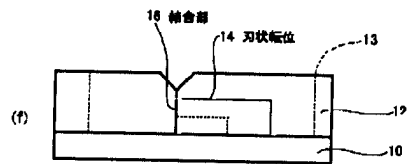
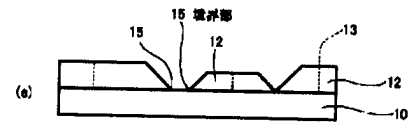
【図3】



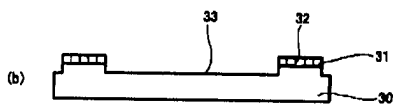
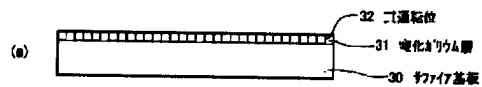
【図4】



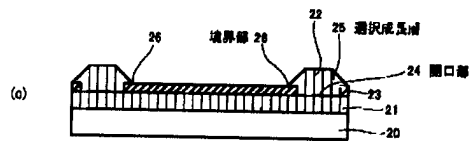
【図2】



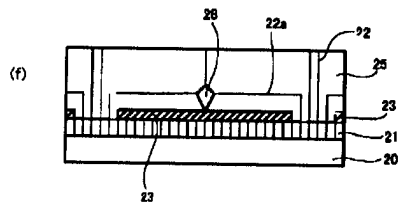
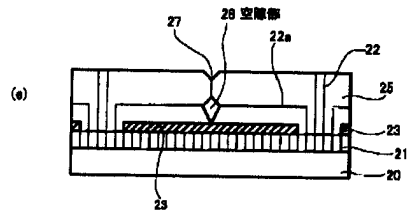
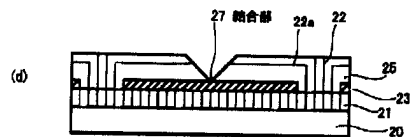
【図7】



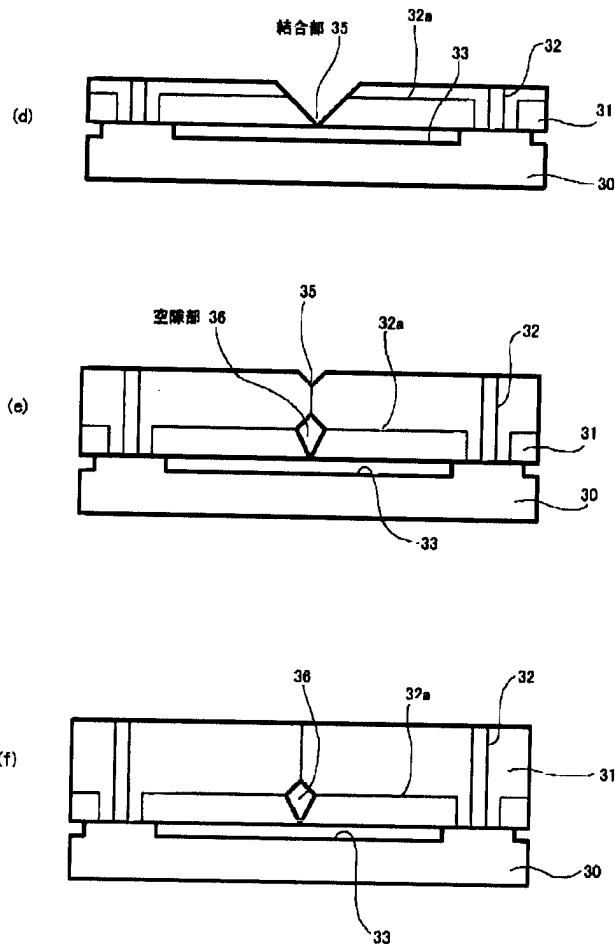
【図5】



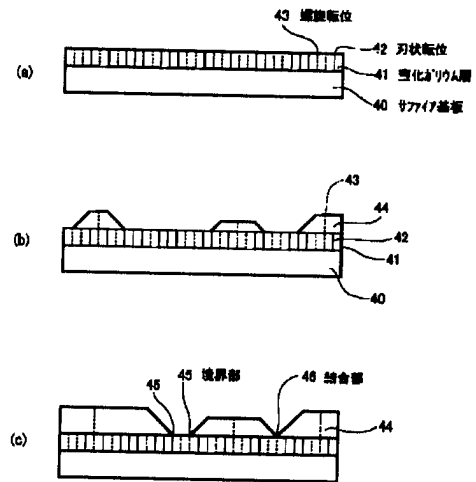
【図6】



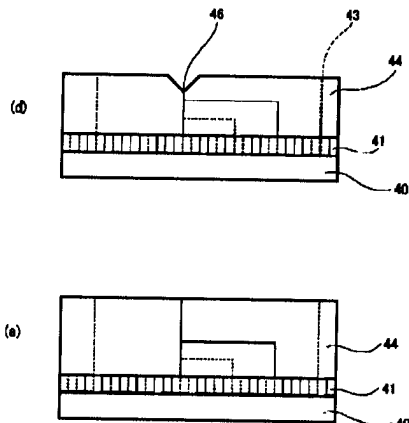
【図8】



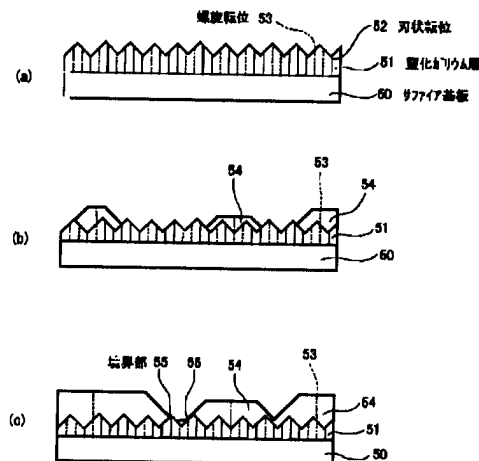
【図9】



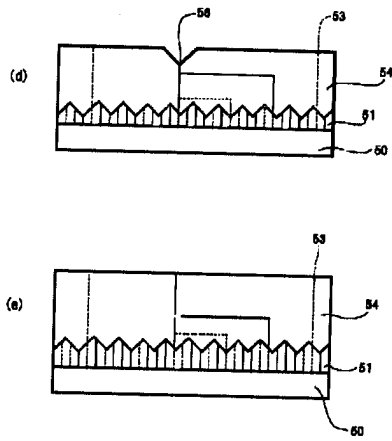
【図10】



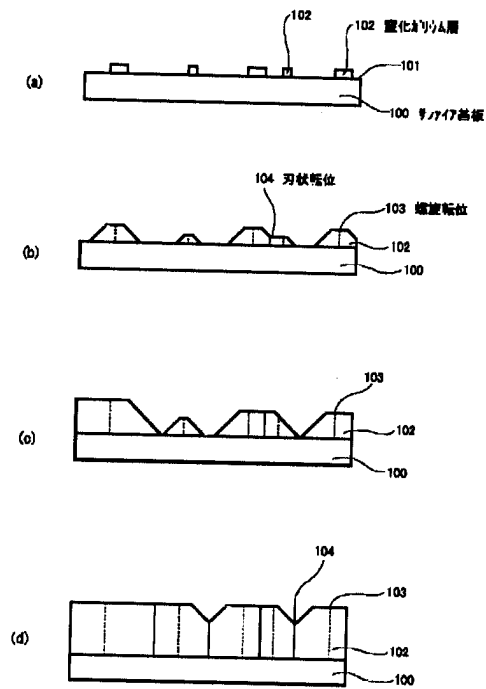
【図11】



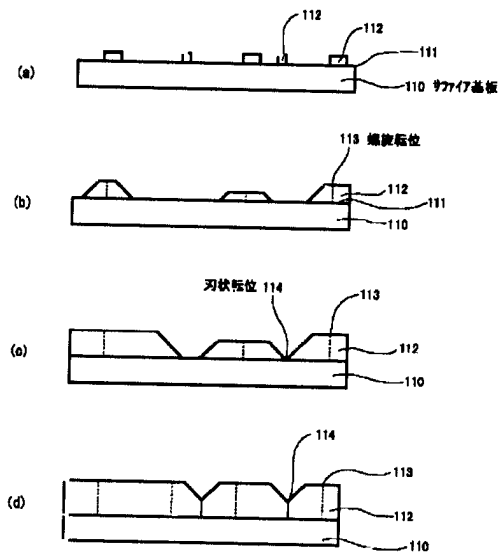
【図12】



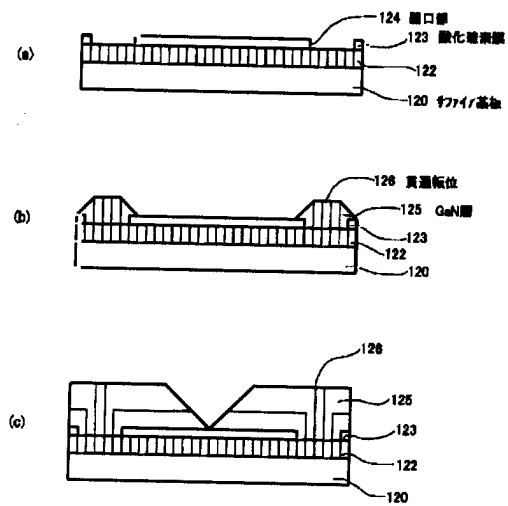
【図13】



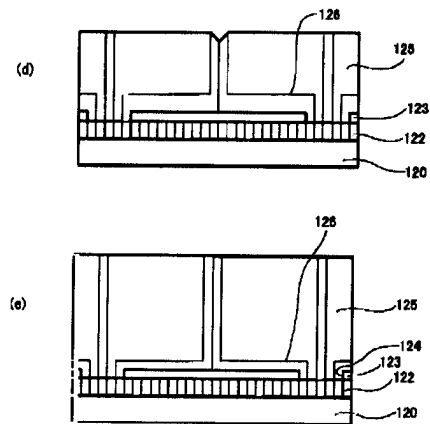
【図14】



【図15】



【図16】



フロントページの続き

(72)発明者 土居 正人
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内
(72)発明者 大畑 豊治
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

F ターム(参考) 4K030 AA06 AA11 AA13 AA17 AA18
BA38 BB12 BB14 CA05 DA03
DA04 DA05 FA10 JA10 JA12
LA14
5F041 AA40 CA34 CA40 CA46 CA65
CA67
5F045 AA04 AB14 AC08 AC12 AD14
AF04 AF05 AF07 BB12 CA11
CA12 DA53 DA63
5F073 CA02 CA07 CB05 DA05 DA07
DA35 EA29